

# NAFTOS PRODUKTŲ VERTIKALUS REZERVUARO STIPRUMO TYRIMAS MODELIAVIMO METODAIS

Larisa Vasiljeva, Žaneta Faizrachmanova

KU JTF, Bijūnų 17, LT-91225 Klaipėda, e-mail: [larisa.vasiljeva@ku.lt](mailto:larisa.vasiljeva@ku.lt)

## Anotacija

Straipsnyje nagrinėjamas naftos produktų vertikalus rezervuaras. Atliktas laikančiųjų konstrukcijų vertinimas, sienučių elgsena ir darbo geba. Modeliuojama rezervuaro konstrukcija, atsižvelgiant į analogiškas praktikoje naudojamas konstrukcijas. Kompiuterinių skaičiavimo paketų STAAD Pro ir *Plaxis 3D foundation* sudarytas rezervuaro skaitinis modelis. Rezervuaras skaičiuotas įvertinus ilgalaikės eksploatacines apkrovas, atsižvelgta į nepalankiausią eksploatacijai apkrovų derinį. Pagrindiniai tyrimo uždaviniai susieti su įtemtai-deformuojamo konstrukcijos būvio analize, tiriami šoninės sienės ir dugno sujungimo mazgu optimalūs variantai. Naudojant nustatytą skaičiuojamąjį modelį, vertikalus rezervuaro konstrukcijos elementų skaičiavimai atlikti remiantis EN 14015 standartu. Pateiktos išvados bei rekomendacijos dėl rezervuaro saugaus eksploatavimo sąlygų.

RAKTINIAI ŽODŽIAI: Rezervuaras, konstrukcija, apkrovos, lenkimo momentas, normaliniai, tangentiniai įtempiai, stiprio riba, takio riba, sienės ir dugno sujungimo mazgas, stipris, EN 14015 standartas.

## Abstract

The article focuses on the vertical oil storage is presented. The assessment carried out by the supporting structures, the behavior of the ability to work metal borders. Modeled on the structure of the tank, taking into account the parallel constructions used in practice. STAAD Pro and *Plaxis 3D foundation* by means of a calculation package drawn up in reservoir numerical model. Reservoir evaluations of the long-term performance of the calculated loads are taken into account in the operation of the most unfavorable combination of loads. The main tasks of the study related to the construction of the life tense-deformable analysis, examined the bottom of the sidewalls and the connection node of the optimal variants. Using a model of the design, the construction of vertical storage tank calculations carried out in accordance with EN 14015 elements of the standard. The conclusions and recommendations about safety of work of oil storage are submitted.

KEY WORDS: reservoir, construction, load, bending moment, normal, tangential stresses, the strength limit, yield point, the sides and bottom nodes, the strength, EN 14015 standard.

## 1. Įvadas

XXa. pradžioje naftos produktų poreikiai kasmet augo. Po to, kai 1916 metais "Asiatic Petroleum Company", vėliau tapusi kompanijos "Shell" dalimi, Europoje pradėjo perdirbti naftą, Klaipėdos uoste pastatytos pirmosios naftos produktų saugyklos – rezervuarai. Atkūrus Lietuvos nepriklausomybę, terminalo veikla įgavo naują prasmę – iškilo alternatyvaus naftos produktų tiekimo būtinybė.

Naftos produktų stacionariosios talpyklos projektuojamos ir statomos pagal API 650 arba EN 14015 standartų reikalavimus. Kauno technologijos universiteto, mechanikos ir mechatronikos fakulteto šilumos ir atomo energetikos katedra parengė ataskaitą "Naujų metodų ir technologijų taikymo analizė įrengiant, modernizuojant ir eksploatuojant naftos ir naftos produktų saugojimo, transportavimo ir paskirstymo sistemas ir šios susistemintos medžiagos parengimas „ Ataskaitoje pirmųjų etapų rezultate atlikta išsami Lietuvos naftos įrenginių būklės analizė. Pateikti užsienio šalių norminiai teisės aktai, susiję su naftos įrenginiais.

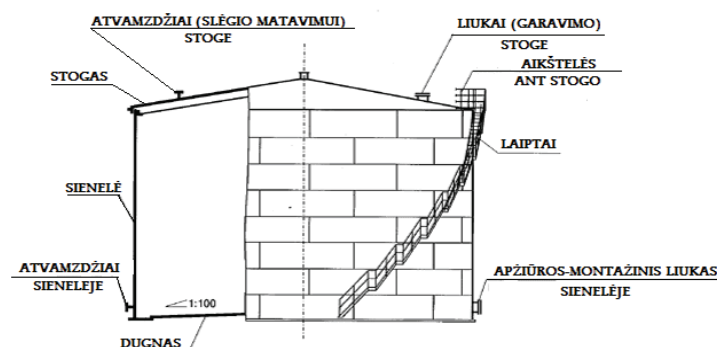
Naftos terminalo įsteigimas yra finansiškai naudingas Valstybei, bei turi geras perspektyvas konkuruojant su kitų šalių jūrų uostų naftos terminalais.

## 2. Naftos rezervuaro geometriniai matmenys ir struktūra

Modeliuojama statinio konstrukcija yra 2000m<sup>3</sup> talpos vertikalus naftos produktų rezervuaras, kuris pavaizduotas (1 pav.).

Atlikti skaičiavimai vienai iš aktualiausių, bei svarbiausių konstrukcijos sudedamųjų dalių t.y, parinkto pagrindo (grunto) sąveikos tyrimas su rezervuaro plienine šonine sienele bei dugnu, atsižvelgiant į juos veikiančių apkrovų dydžius [3],[7].

Rezervuaro parametrai: nominalus tūris  $2000\text{m}^3$ , vidinis diametras  $15\text{m}$ , rezervuaro aukštis  $12\text{m}$ , saugomų naftos produktų tankis  $0.9\text{ t/m}^3$ , sienelės juostų skaičius  $8\text{vnt.}$ , viršutinės juostos storis  $5\text{mm.}$ , apatinės juostos storis  $7\text{mm.}$ , išilginių juostų skaičius  $8\text{vnt.}$ , plokštės centrinės dalies dugno storis  $5\text{mm.}$ , šoninės dalies dugno storis  $7\text{mm.}$  apvali plieninė plokštė, apkrauta tolygiai išskirstytomis apkrovomis  $F=109,30\text{ kN/m}^2$  plieninė plokštė ant tampriojo pagrindo, grunto tampriojo modulis  $E=10000\text{ kN/m}^2$ , grunto sankabumas  $c_{ref}=10$ , Puasono koeficientas  $\nu=0,42$ . Gruntas – nusausintas molis, aukščiau žemės paviršiaus grunto specifinis svoris  $\gamma_{unsat}=17\text{ kN/m}^3$  žemiau žemės paviršiaus  $\gamma_{sat}=18\text{ kN/m}^3$ .

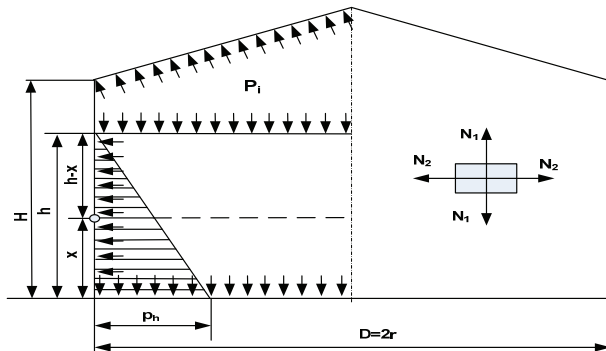


1 pav.  $2000\text{ m}^3$  vertikalus naftos produktų rezervuaras

### 3. Matematinis modeliavimas

Analizuojant rezervuarų plienines konstrukcijas, kurio laikančiąsias konstrukcijas pagrindiniai sudaro lakštinis metalas labai glaudžiai taikoma kevalų skaičiavimo teorijos metodas [6]. Atsižvelgiant į tai, kad plieniniai rezervuarai skirti naftos produktams turi savo specifines eksploatacines ir konstrukcines savybes, minėtą kevalų skaičiavimo teoriją daugelyje atvejų taikyti negalima ir viena iš pagrindinių prielaidų yra tai, kad plieniniai rezervuarai sudaryti iš sudėtingų metalo suvirintų konstrukcinių elementų, skirtingų rūšių ir storio metalo bei jų siūlių [8]. Be to montuojant, lenkiant, suvirinant metalo lakštus, atsiranda įvairių nelygumų, ir atitinkamos nuokrypos nuo pradinės padėties, ko rezultate rezervuarai neturi tolygiai lygaus paviršiaus, išlinksta pagal cilindrą, sferą ir pan.

Rezervuarų skaičiavimo metodikos tobulinimui yra atlikta daug eksperimentinių bandymų su įvairaus tipo, formų, bei prie įvairių bandymų sąlygų, rezervuarais [2]. Vienos iš labiausiai paplitusių ir taikomų praktikoje yra: rezervuaro sienelės stiprumo skaičiavimas esant pastoviam sienelės storiui, rezervuaro sienelės ir dugno įtempimų skaičiavimas pagal *Vinklerio* teoriją, rezervuaro sienelės stiprio skaičiavimas, esant skirtingam storiui, pagal juostas, bei rezervuarų stogų skaičiavimas pagal bemomentinę teoriją, rezervuaro sienelės skaičiavimas vėjo apkrovai, esant lokalioms rezervuaro deformacijoms [1].



2 pav. Vertikalaus  $2000\text{ m}^3$  cilindrinio rezervuaro skaičiuojamoji schema

Rezervuaro sienelių skaičiavimas: [7]

$$s_{sien.} = \frac{[n_1 r (h - x) + n_2 P_i] r}{g_C t}; \quad (1)$$

$$t_i = \frac{[n_1 \rho (h - x) + n_2 P_i] r}{\gamma_C R_Y}. \quad (2)$$

kur:  $n_1 = 1.0$  - vandens hidrostatinis perkrovos koeficientas;

$(h - x)$  - atstumas nuo skysčio paviršiaus iki skaičiuojamosios sienelės taško;

$\rho = 0.95 \text{ t/m}^3$  - naftos lyginamasis svoris;

$h$  - atstumas nuo skysčio paviršiaus iki skaičiuojamosios juostos taško;

$x = 0.60 \sqrt{rt}$  - atstumas nuo skaičiuojamosios juostos iki didžiausio įtempimo vietos jei sienelės storio skirtumas daugiau kaip 2mm.,  $r$  - rezervuaro sienelės spindulys,  $P_i$  - slėgis,  $n_2 = 1, 2$  - perkrovos koeficientas dėl slėgio (viršslėgio arba vakuomo),  $\gamma_C = 0, 7$  - apatinės juostos darbo sąlygų koeficientas, o kitiems  $\gamma_C = 0, 8$ ,  $R_Y$  - plieno skaičiuotinas atsparis.

Radialinis rezervuaro sienelės poslinkis nuo hidrostatinio slėgio, skaičiuojamas:

$$\Delta r = pr^2 (h - x) / Et \quad (3)$$

kur:  $E = 2 \times 10^5 \text{ Mpa}$  - plieno tamprumo modulis.

Ypatingą reikšmę praktiniame ir teoriniame skaičiavime turi įtempimų skaičiavimas rezervuarų sienelės su dugnu.

$$D \frac{d^4 y}{dx^4} + \frac{Et}{r^2} y = Px \quad (4)$$

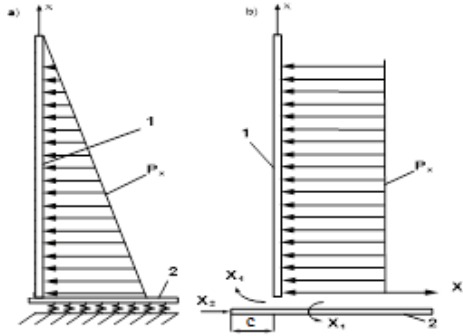
$$\text{kur: } D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} - \text{kevalo cilindrinis standis} \quad (5)$$

$$\frac{Et}{r^2} = k - \text{šoninės sienelės standžio koeficientas (su dugnu).}$$

Ši diferencialinė lygtis –lenktos ašies sijos ant standaus pagrindo. Kitų nežinomųjų reiškinį nustatymas sprendžiamas jėgų metodu kur vienetinių poslinkių skaičiavimui naudojamas pusiau beribės sijos skaičiavimui ant standaus pagrindo. Įvertinat tai, kad mažų ir vidutinių plieniniai rezervuarai (iki  $5000 \text{ m}^3$ ) imtinai montuojami ant pamatų iš smėlio-molio pagrindo, tai dugno lakštų juostų ir sijų skaičiavimui naudojamas sienelės “prigludimo” prie dugno metodas.[3]

### 3.1 Vertikalių cilindrinų rezervuarų sienelių įtempių su dugnu skaičiavimas

Įtempių skaičiavimui paprastai naudojama įtemptos sijos skaičiavimo metodas. Sija laikoma vertikaliajoji cilindrinio rezervuaro kevalo dalis, kuriai tamprumo koeficientas nustatomas pagal formulę  $k_{sienelė} = Et_{sienelės} / r_{sienelė}^2$ . Antrąją sija laikoma horizontalioji rezervuaro dugno kraštinė dalis, besiribojanti su vertikaliajoja cilindrine dalimi su „sudūrimo“ koeficientu  $k_{dugn.}$



**3 pav.** Rezervuarų sienelės su dugnu įtempimų skaičiavimo schema  
kur: a- skaičiavimo schema; b- pagrindinė sistema; 1- rezervuaro sienelė; 2- dugnas.

Nežinomieji  $x_1$  ir  $x_2$  (pav. 3 a; b) yra vertikaliojoje sienelės dalyje, o dugno plokštumos dalyje atstumu  $c$  nuo vertikaliosios rezervuaro juostos dalies iki dugno juostos krašto.

Diferencijuojant lygtį  $D \frac{d^4 y}{dx^4} + ky = P_x$ , nustatomi nežinomieji. Kanoninė lygtis:

$$\begin{cases} \delta_{11sien.} + \delta_{11dugnas} x_1 + \delta_{12sien.} x_2 + \Delta_1 P_{sien.} + \Delta_1 P_{dugno} = 0 \\ \delta_{21} x_1 + \delta_{22} x_2 + \Delta_2 P_{sien.} = 0 \end{cases}$$

Prilyginus  $x_1=1$ ,  $x_2=1$ , gauname nežinomuosius:

$$\delta_{11sienelės} = \frac{1}{m_{sien.} D_{sien.}}; \delta_{12sien.} = \delta_{21sien.} = \frac{1}{2m_{sien.}^2 D_{sien.}}; \quad (6)$$

$$\delta_{22} = \frac{1}{2m_{sien.}^3 D_{sien.}}; \Delta_{1psien.} = \frac{\rho}{k_{sien.}}; \Delta_{2psien.} = \frac{\rho}{k_{sien.}} h. \quad (7)$$

kur:  $h$  - atstumas nuo skaičiuojamojo skysčio aukščio iki dugno.  
Dugno „kraštinis efektas“ apskaičiuojamas:

$$\delta_{11dugn.} = \frac{1}{m_{dugn.} D_{dugn.}} \times \frac{1 + \gamma m_{dugn.c} + 2\theta^2 m_{dugn.c}}{4}; \quad (8)$$

$$\Delta_{10pdugn} = - \frac{q_0 m_{dugn.}}{2k_{dugn.}} [1 \times m_{dugn.c} \Psi_{m_{dugn.c}} + 2\Theta_{m_{dugn.c}} \zeta_{m_{dugn.c}}]; \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \Theta_{mx} &= e^{mx} \cos(mx); \zeta_{mx} = e^{mx} \sin(mx); \\ \Psi_{mx} &= \Theta_{mx} - \zeta_{mx}; \end{aligned} \quad (10)$$

kur  $\rho$  = tolygus hidrostatinis slėgis;

$\rho_1$  - koncentruoto slėgio nuo sienelės į stogą dydis, kuris tenka 1cm. rezervuaro perimetrai.

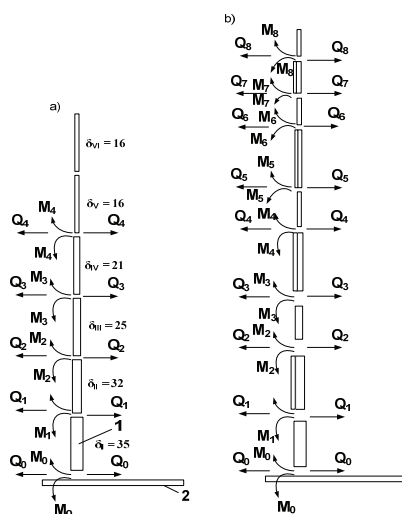
Įtempiai, įvertinant „dugno krašto“ efektą ir plastinių deformacijų atsiradimo pobūdį [2],[7].

$$\sigma_{sien.} = \frac{M_{sien.}}{W_{sien.}} = \frac{4M_{sien.}}{t_{sien.}^2} \times \gamma c_{sien.} R_y \gamma_{kraštinės.sien.} = 0,8 \times 1,5 R_y = 1,20 R_y. \quad (11)$$

$$\sigma_{dugn.} = \frac{M_{dugn.}}{W_{dugn.}} = \frac{4M_{dugn.}}{t_{dugn.}^2} \times \gamma c R_y \gamma_{kraštinės.dugn.} = 1,20 R_y, \quad (12)$$

$$\text{kur: } W_{sien.plotis} = \frac{t_{sien.}^2}{4}; W_{dugno.plotis} = \frac{t_{dugn.}^2}{4}; g_c = 0,8; \quad (13)$$

$g_{stogo} = 1,5$  dėl „kraštinio“ efekto



**4 pav.** Pagrindinė skaičiavimo sistema skaičiuojant rezervuarus su kintamu lakštų juostų storiu (a) ir sustiprinimo juostomis (specialiomis) (b)

Nagrinėjama dydžių nustatymo metodika, kaip parodyta sandūroje 1, tarp pirmos ir antros juostų, (4 pav., a, b), 2- dugno. Atsižvelgiant į tai, kad juostos turi skirtingus storius  $b$ , nuo veikiančio hidrostatinio slėgio suvirinimo siūlėje atsiranda lenkimo momentas  $M_1$  ir skersinė jėga  $Q_1$ . „Krašto“ efektas pasireiškia nuo sandūros į viršų ir žemyn atstumu  $x = 0.60 \sqrt{rt}$ . Šio reiškinio įtakos nustatymui naudojama tamprios būsenos išlenktos sijos lygtis, kurios gale pridėti lenkimo momentai ir skersinė jėga  $Q_1$ . Pavyzdžiui, žemiau pirmosios juostos sandūros:

$$\gamma_1 = \frac{\rho}{k} \times (h + x) + e^{mx} (A_1 \cos(m_1 x) + A_2 \sin(m_1 x)); \text{ arba} \quad (14)$$

$$\gamma_1 = \frac{\rho}{k_1} (h_1 + x) A_1 e^{mx} \cos(m_1 x) + A_2 e^{m_1 x} \sin(m_1 x) \quad (15)$$

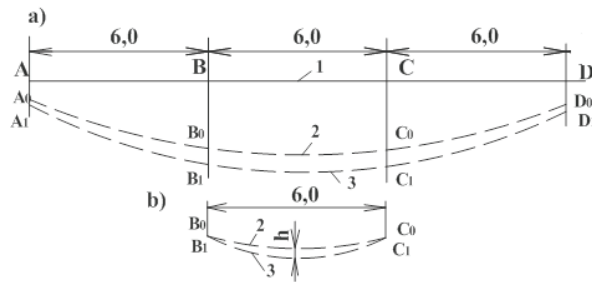
Dėl tos pačios sandūros aukščiau I-osios juostos:

$$\gamma_2 = \frac{\rho}{k_2} \times (h_1 - x) + A_3 e^{mx} \cos(m_2 x) + A_4 e^{m_2 x} \sin(m_2 x). \quad (16)$$

Pasitaikantis dugno nusėdimas, tai vienpusis, kuris įtakoja rezervuaro pakrypimą į vieną ar kitą šoną. Tai nebūtų ypač reikšminga, jeigu tai nebūtų rezervuaro sujungimo su vamzdynu vietoje (toje pusėje). Labiausiai pavojingas yra nevienodas dugno kontūro nusėdimas, kuris iššaukia papildomus įtempius rezervuaro apatiniame (pirmosios juostos) sienelės ir dugno sujungimo mazge.

Rezervuaro dugno centro įlinkis dažniausiai būna maksimalus, lyginant su viso kontūro įlinkiais, tačiau įlinkių pavojingumo laipsnis priklauso nuo rezervuaro konstrukcijos, o būtent, ar yra centrinė stogo konstrukcijos atrama. Paties dugno konstrukcijai leistini įlinkiai nėra pavojingi, tačiau ir nepageidautini, nes tai įtakoja dugno projekcinio nuokrypio (1,7-2,3%) pasikeitimą, kas apsunkina vykdant rezervuarų valymą eksploatacijos metu [5]. Rezervuaro dugno pagrindo horizontalumas po montavimo darbų tikrinamas niveliavimo būdu ir gautų davinių pagrindu daroma dugno pagrindo kontūro profilio išklotinė. Jeigu už pirminį pagrindą paimsime kontūro profilio duomenis esant tuščiam rezervuarui ir laikysime, kad šioje padėtyje nėra papildomų įtempių rezervuaro dugno su siennele, tai po rezervuaro užpildymo naftos

produktais, dugno pagrindas įgaus naujus įlinkius. Įlinkių nustatymui, būtina atlikti naujus dugno niveliavimo matavimo darbus, nubrėžti dugno pagrindo kontūro profilio naują išklotinę ir šiuos davinius sulygtinti su pirminiais daviniais (esant tuščiam rezervuarui).[4]



**6 pav.** Netolygaus dugno įlinkių papildomų įtempių nustatymo iliustracija

a- rezervuaro dugno išorinio kontūro profilio dalis: 1- dugno kontūro projektinė padėties išklotinė; 2- faktinė dugno kontūro profilio padėtis; 3 - deformuota dugno kontūro profilio padėtis; b- sulyginta pradinė (projektinė) ir deformuota dugno kontūro profilio padėtis.

Plieno mechaninės savybės ir cheminė sudėtis yra pagrindiniai rodikliai, pagal kuriuos sprendžiama apie plieno kokybę, jo atitikimą parinktai konstrukcijai. Nustatomi parametrai:

1. Šoninės sienelės max. gniuždymo įtempiai ir kritiniai gniuždymo įtempiai:

$$\sigma_{sien.gniuz.max.} = \frac{N_{sien.}}{t}, \quad \sigma_{sien.gniuz.krit.} = \frac{cEt_{sien.}}{r} \quad (17,18)$$

koeficientas  $c$  nustatomas priklausomai nuo  $r/t$  santykio dydžio.

2. Nustatomi vertikalaus rezervuaro plieninio dugno ir plieninės šoninės sienelės normaliniai įtempiai:

Šoninės sienelės maksimalus normaliniai įtempiai:

$$\sigma_{sien.max} = \frac{M_{sien.}}{W_{sien.}} = \frac{4M_{sien.}}{t_{sien.}^2} \quad (19)$$

Plieninio dugno max. stiprio normaliniai įtempiai:

$$\sigma_{dugn.max} = \frac{M_{dugn.}}{W_{dugn.}} = \frac{4M_{dugn.}}{t_{dugn.}^2}, \quad \sigma_{sien.max} < \sigma_{u,d} \quad (20)$$

3. Nustatomi šoninės sienelės max. stabilumo įtempis ir kritinis stabilumo įtempis:

$$\sigma_{sien.stab.max.} = \frac{p_{vid}r}{t}, \quad \sigma_{sien.stab.krit.} = \frac{0,55Er}{l(t/r)^{1,5}} \quad (21)$$

$$\sigma_{sien.stab.max.} < \sigma_{sien.stab.krit.}$$

kur:  $l$  – šoninės sienelės ilgis.

4. Nustatomi max. šlyties įtempiai. Gruntas suyra tada, kai slydimo plokštumoje tangentiniai įtempiai tampa lygūs arba didesni negu grunto kerpamasis stipris. (šlyties įtempiai).

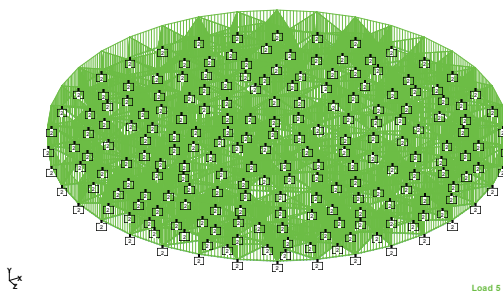
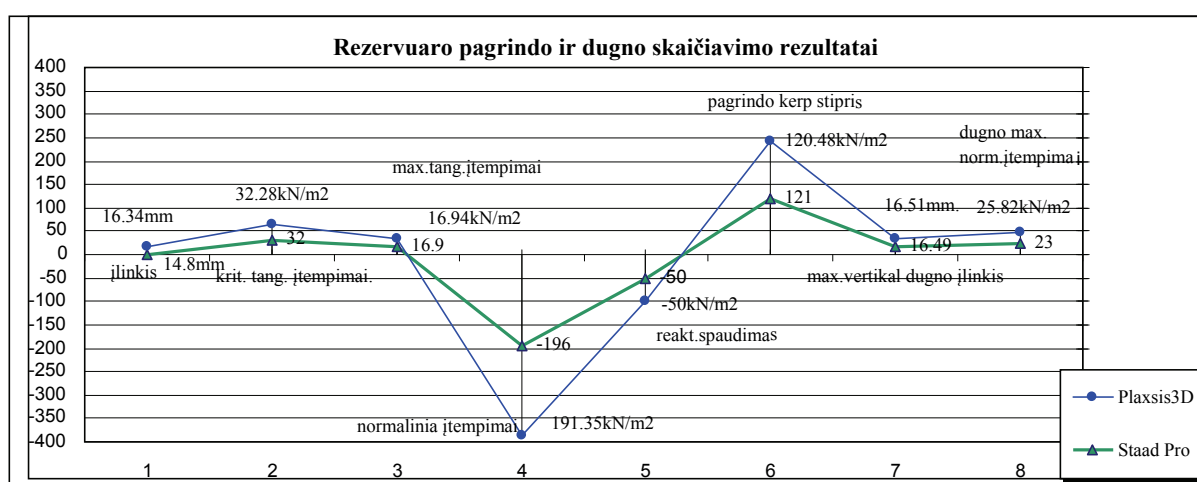
$$\tau_u, t_u = tgj \times s + c. \quad (22)$$

kur:  $\tau_u$  ir  $\sigma_n$  – šlyties ir normaliniai įtempiai;  $c$  ir  $\varphi$  – sankabumas ir vidinės trinties kampas, t. y. grunto atsparumo šlyčiai parametrai.

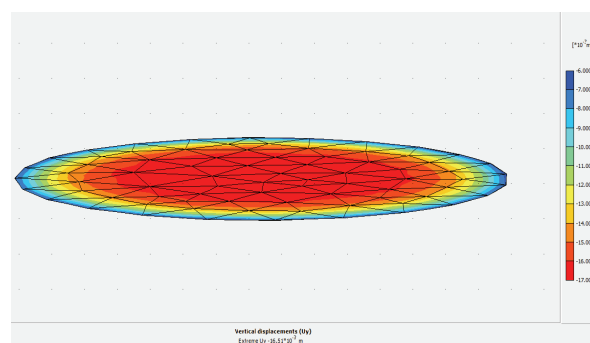
čia  $t$  - tangentiniai įtempiai grunto kirpimosi plokštumoje,

5. Nustatoma rezervuarą veikiančią vėjo apkrovą: Statinė vėjo apkrova, statmena paviršiui:  $Q = C_x \times q$ ,  
čia:  $C_x$  - aerodinaminis pastato pasipriešinimo koeficientas,  $q$ -vėjo slėgis į ploto vienetą,  $\text{kg/m}^2$   
 $C_x = 0,8 + 0,8 = 1,6$  Pagal kinetinės energijos dėsnį:  $q = \frac{1}{2} \rho v^2$  čia:  $v$ – vėjo greitis  $\text{m/s}$ ,  $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ ,  $m = \rho / g$ , kai oro  $t = 15^\circ\text{C}$ ,  $P = 760 \text{ mm}$  ir  $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ ,  $m = 1,225 / 9,8 (\text{kg s}^2 \text{ m}^{-4})$ . Tada:  $q = v^2 / 16$  - skaičiuojamasis vėjo greitis,  $Q = C_x (v^2 / 16) \text{ kg/m}^2$ .

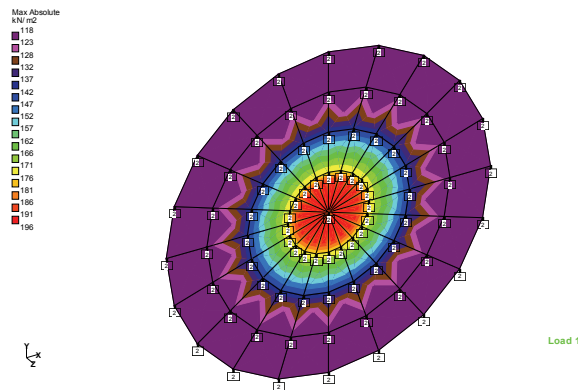
#### 4. Rezervuaro konstrukcijų modeliavimas atliktas su kompiuternėmis programomis - “STAAD Pro. 2004”, „Plaxis 3D Foundation“.



7 pav. Plokštės skaičiuojamoji  $10^{-3} \text{ m}$  shema.



8 pav. Apvalios plokštės (dugno) įlinkių diagrama  $U_{\text{max}}$ .



10 pav. Pagrindo max. (gniuždymo) įtempis  $s_{\max}$  kN/m<sup>2</sup> (Staad Pro)

## Išvados

1. Didžiausi įtempiai yra sudūrimo vietoje tarp šoninės sienelės ir dugno, kai dugnas yra plokščias, nes kampas tarp dugno ir šoninės sienelės sudūrimo vietos yra  $\alpha = 90^\circ$ , o pagal „slėgimo indų teoriją“: kuo didesnis kampas - tuo didesni įtempiai sudūrimo vietose. Tačiau tik pradinis (projektinis) dugnas yra plokščias, vėliau papildžius ir išleidus jame laikomus naftos produktus, rezervuaro dugnas negrįžtamai deformuojasi ir įgauna pradinį įdubimą.
2. Įtempių atžvilgiu idealiausias rezervuaro dugnas yra sferinės formos, nes kampas tarp dugno ir šoninės sienelės sudūrimo vietos yra praktiškai  $\alpha \approx 180^\circ$ , tačiau tai yra neįmanoma ir praktikoje nesutinkama dėl didelių rezervuarų geometrinių formų.
3. Realesnį rezervuaro dugno formos variantą – tai dugnas elipsės formos, nes kampas tarp dugno ir šoninės sienelės sudūrimo vietose yra  $90^\circ < \alpha < 180^\circ$ , kurį būtų įmanoma praktiškai įgyvendinti, tačiau toks gamybos būdas daugiausia praktikoje pritaikomas nedidelių (iki 100 m<sup>3</sup>) rezervuarų gamyboje.
3. Atlikus skaičiavimus matyti, jog keičiant pagrindo standį, bei veikiamos apkrovos dydžius gaunami atitinkami dugno bei šoninės sienelės sudūrimo vietose įtempių reikšmės. Kuo didesnė apkrova yra veikiamas plieninis dugnas, bei kuo mažesnis pagrindo standumo modulis, tuo dugno įlinkių (deformacijų) reikšmės yra didesnės, dėl to dugnas tampa panašesnis į elipsės formą. Tokių būdu, dugno ir šoninės sienelės sudūrimo vietose veikiamų įtempių reikšmės įmanoma sumažinti apie 20%.
4. Sumažinti rezervuaro dugno įlinkius galima sustiprinti pagrindą ji sutankinus, arba pritaikyti pagrindo aukštesnę standumo modulio reikšmę.

## Literatūra

1. Орлов В.М., Поповский Б.В. 2007, Строительство крупных резервуаров во Франции. Петербург с.216.
2. 1998, Проектирование, строительство и эксплуатация изотермических хранилищ сжиженных углеводородных газов. Москва: „Стройиздат“, с.67.
3. Krutinis A. 2007, Konstrukcijų ant tampriojo pagrindo skaičiavimo teorija ir metodai. Vilnius: „Technika“, p 161.
4. Вольмир А.С 1998, Устойчивость деформируемых систем. Москва: „Физматиздат“, с.179.
5. Веревкин С.И., Ржавский Е.Л. 1999 Повышение надежности резервуаров, газгольдеров и их оборудования. Москва: „Недра“, с.179.
6. Atkočiūnas J, Nagevičius J. 2004, Tamprumo teorijos pagrindai. Vilnius: „Technika“, p. 30-84; 304.
7. K. Zienkiewicz, K.Morgan, Finite Elements and Approximation, University of Wales, UK, 1983.
8. Н.В. Колкунов, 1987, Основы расчета упругих оболочек. Москва: Высшая школа, с.256.



## **NAFTOS PRODUKTŲ VERTIKALUS REZERVUARO STIPRUMO TYRIMAS MODELIAVIMO METODAIS**

**Larisa Vasiljeva, Žaneta Faizrachmanova**

Santrauka

Straipsnyje pateikiami naftos produktų vertikalaus rezervuaro ant tampraus pagrindo stiprumo tyrimo modeliavimo metodais rezultatai. Skaičiavimo tyrimo pagrindiniai uždaviniai glaudžiai susiję su konstrukcijos įtempimo-deformacijos būkle, racionalių rezervuaro dugno formos, sudūrimų įrenginio gamybos variantų paieška, bei įtempimų koncentracijų mazguose esant įvairioms išorinėms apkrovoms nustatymu.

Panaudojus įvairių kompiuterinio programų paketų pagalbą, tyrimų pagrindą sudaro konstruktyvus-panašumo modeliavimas, o taip pat daugiausiai atsakingų stiprumui mazgų daugkartiniai skaičiavimai.